

PENGEMBANGAN KARBON MESOPOROUS SEBAGAI ADSORBAN UNGGUL BERKEMAMPUAN SELEKTIF TERHADAP AIR UNTUK PEMURNIAN ETHANOL GRADE BAHAN BAKAR

Desi Fujanita, Susan Yulianti, Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D, dan Prof. Dr. Ir. Nonot Soewarno, M.Eng,
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: f_taufany@chem-eng.its.ac.id

Berawal dari besarnya manfaat material karbon berpori untuk berbagai macam aplikasi, mulai dari aplikasi teknologi konversi energi hingga biomedis maupun lingkungan, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis karbon berpori yang mempunyai morfologi menyerupai serat. Dengan menggunakan metode sintesis yang mampu memberikan suatu kondisi yang disebut kinetically controlled, metode yang kami namakan dengan metode sekuensial gas-liquid, dapat mensintesis karbon-mesoporous yang mempunyai luasan permukaan yang tinggi (836,25 m²/g) dan iodine number sebesar 602,5 mg/g, pada kondisi optimum operasional gas treatment yaitu (a) komposisi gas O₂ 30% vol, (b) waktu gas treatment 1 jam, (c) suhu gas treatment 300°C, dan (d) flow-rate gas 100 cc/m; dan pada kondisi optimum operasional liquid treatment yaitu (a) komposisi larutan HNO₃ sebesar 65%, (b) 6 jam treatment, dan (c) suhu 100°C. Metode sintesis yang dikembangkan di sini memperhatikan aspek teknologi proses, ketersediaan bahan, dan keramahan lingkungan.

Fungsi dari gas dan liquid treatment adalah mengarahkan pembentukan struktur morfologi pori-pori mikro karbon, yang dilapisi oleh gugus fungsional oksigen, seperti carboxylic acid, quinones, -C-OH (stretching), dan carboxylic anhydrides, yang mampu memenuhi segala persyaratan utama sebagai karbon berpori yang ideal. Selain itu, Liquid treatment berfungsi untuk merubah sifat hydrophobic pada karbon menjadi hydrophilic. Sebagai contoh untuk didemonstrasikan potensi kemanfaatannya, karbon-mesoporous digunakan sebagai adsorban unggul yang mampu memberikan kapasitas adsorpsi dan selektivitas terhadap air yang besar di dalam proses pemurnian ethanol grade bahan bakar.

Hasil percobaan aplikasi karbon sebagai adsorban pemurnian ethanol menunjukkan terjadi kenaikan konsentrasi ethanol setelah dilakukan proses distilasi-adsorpsi. Hal ini membuktikan bahwa karbon black yang telah diaktivasi dengan metode gas-liquid treatment, dapat dijadikan adsorban untuk pemurnian ethanol. Namun, adsorban karbon mesoporous ini belum bisa menghasilkan ethanol grade bahan bakar.

Kata Kunci : karbon-mesoporous, sekuensial gas-liquid, kinetically controlled, hydrophobic, hydrophilic

I. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai potensi yang besar untuk mengembangkan bioethanol sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Bioethanol memiliki beberapa keunggulan jika digunakan sebagai bahan bakar,²⁻⁵ diantaranya (1) kandungan oksigen ethanol tinggi (35%) sehingga menghasilkan bahan bakar yang bersih; (2) hasil bersih ini ramah bagi lingkungan karena emisi gas karbon monoksida lebih rendah 19 – 25 % dibanding BBM; (3) angka oktan ethanol tergolong tinggi sekitar 129 sehingga menghasilkan proses pembakaran yang stabil. Proses pembakaran dengan daya yang lebih baik ini akan mengurangi emisi gas karbon monoksida. Berkaitan dengan

MTBE, ethanol memiliki sifat peningkatan angka oktan yang lebih besar, tidak beracun, dan tidak mencemari sumber air; (4) campuran bioethanol 3% saja mampu menurunkan emisi karbon monoksida menjadi hanya 1,3%. Dengan memperhatikan aspek keberagaman ketersediaan bahan baku dan keunggulan-keunggulan dari bioethanol sebagai energi alternatif terbarukan, maka esensi dari UU No. 30 Tahun 2007 terutama yang berkaitan dengan kemandirian energi dan pengutamaan energi terbarukan dapat diwujudkan dan bukan hanya menjadi wacana saja.

Namun demikian tantangan yang dihadapi dalam pengembangan energi terbarukan juga tidaklah mudah, karena biaya produksi bioethanol secara signifikan masih lebih tinggi daripada biaya produksi bahan bakar fosil. Biaya produksi yang tinggi ini terutama ada pada proses pemurniannya. Hal ini merupakan masalah umum dalam dehidrasi ethanol, karena ethanol membentuk campuran titik didih minimum, yang disebut azeotrop, pada 95,6 % berat dengan air pada suhu 78,15°C,⁶⁻⁷ yang menyebabkannya tidak mungkin untuk memisahkan ethanol-air dalam kolom distilasi tunggal.

Salah satu alternatif untuk mengatasi kebutuhan energi yang besar untuk memperoleh ethanol anhydrous adalah dengan adsorpsi. Adsorpsi fasa uap mengkonsumsi energi yang jauh lebih kecil daripada distilasi, karena hanya dibutuhkan satu kali penguapan. Faktor utama pada proses adsorpsi adalah pemilihan adsorbannya, dimana adsorban yang unggul harus memenuhi beberapa persyaratan terutama adsorban harus memiliki selektivitas yang tinggi terhadap air, kapasitas adsorpsinya besar, dan memiliki luas permukaan yang besar.

Adsorban yang umum digunakan pada proses distilasi adsorpsi, misalkan zeolit molecular sieve 3Å dan 4Å, memiliki kapasitas adsorpsi yang besar pada umumnya, namun masih terkendala pada proses regenerasi dan kesinambungan penggunaannya. Secara spesifik, stabilitas termal pada struktur porinya yang rendah dapat memberikan degradasi signifikan di dalam proses regenerasi yang melibatkan suhu tinggi, yang pada akhirnya akan menurunkan tingkat selektivitas terhadap air secara drastis.¹⁰ Oleh karena itu, perlu dikembangkan adsorban unggul yang memiliki kapasitas adsorpsi, luas permukaan yang besar, stabil struktur pori-porinya terhadap suhu tinggi, dan selektivitasnya terhadap air tinggi.

Untuk mendapatkan adsorban unggul dengan karakteristik tersebut di atas, maka pada penelitian ini, kami mengembangkan karbon mesoporous dari bahan baku karbon black dengan menggunakan metode *sequential gas-liquid*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan adsorban unggul berbasis karbon-berpori dengan struktur morfologi unik, yaitu mesopore, yang dengannya memberikan selektivitas terhadap air yang tinggi, kapasitas adsorpsi dan luas permukaan yang besar, dan memiliki stabilitas struktur morfologi pori yang tinggi. Adsorban karbon-mesoporous yang dikembangkan di sini berasal dari bahan baku yang murah, yaitu karbon *black*. Adsorban tersebut dirancang untuk diaplikasikan dalam pemurnian ethanol agar dapat diperoleh *anhydrous ethanol* atau sebagai bioethanol.

II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara praktik di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Jurusan Teknik Kimia ITS. Bahan baku yang digunakan adalah karbon komersial yaitu karbon black. Bahan yang digunakan adalah partikel berbentuk bola berongga dan ukuran partikel seragam, untuk karbon black komersial sebesar 120 mesh dan karbon aktif sebesar 100 mesh. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Variabel Tetap

- Massa Karbon Black : 5 gram
- Rate flow gas : 100 cc/min
- Komposisi HNO_3 : 65%
- Suhu refluks : 100°C
- Waktu refluks : 6 jam

2. Variabel Berubah

Gas sequential

- Waktu : 1, 2, 3, 4, dan 5 jam.
- Komposisi gas Oksidan: 10, 20, 30%.
- Temperatur Heater : 300, 450, 600°C .

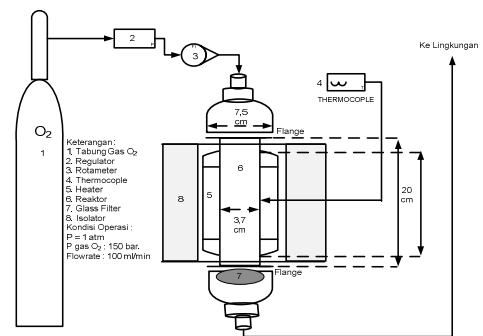
3. Variabel Respon

- Iodine Number
- Luas Peremukaan (BET)
- Distribusi ukuran pori-pori (SEM)
- Gugus fungsional Oksigen (FTIR)

Eksperimen ini dilakukan secara bertahap yaitu dengan sintesis karbon fibrous dan karakterisasi struktur morfologinya.

A. Sintesis Karbon-Fibrous

Bahan baku karbon yang digunakan sebagai bahan dasar dalam penelitian ini adalah karbon black. Karbon black sebanyak 5 gram ini kemudian dimasukkan ke dalam kolom gas-treatment berbentuk vertical (lihat Gambar 2)

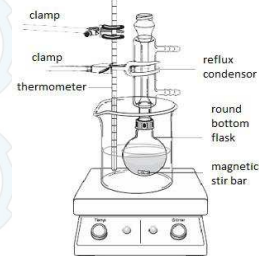


Gambar 2. Kolom gas-treatment vertical

Kolom gas treatment vertical dan horizontal memiliki diameter yang sama yaitu diameter 3,7 cm. Untuk kolom gas treatment vertical mempunyai tinggi 20 cm, sedangkan kolom gas treatment horizontal mempunyai panjang 20 cm yang dinding luarnya dililit elemen pemanas dan dilengkapi *thermocouple* dan kontrol suhu.

Karbon black komersial ditreatment dengan gas oksigen sesuai variabel pada kolom gas-treatment untuk mengkondisikan dekomposisi secara lambat. Desain ini sedikit memodifikasi desain yang sudah ada. Karbon ditempatkan pada basket / holder yang terbuat dari glass filter. Reaktor dipanaskan dengan menggunakan gas oksidan O_2 dengan variabel suhu dan waktu yang telah ditentukan diatas.

Karbon black hasil gas treatment direfluks dengan HNO_3 65% sesuai variabel. Liquid treatment ini bertujuan untuk switching *hydrophobic to hydrophylic* dengan terbentuknya gugus fungsional diatas permukaan karbon.



Gambar 3 Peralatan treatment karbon dengan media liquid HNO_3 skematik,

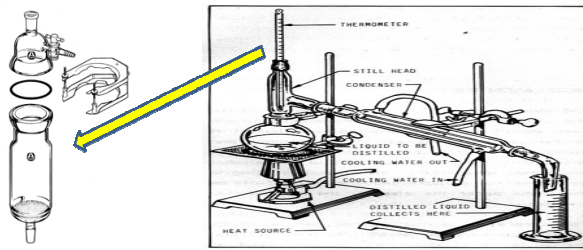
B. Karakterisasi Karbon-Fibrous

- Analisa Iodine Number untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon terhadap *Iodine* dengan metode Titrimetri.
- Metode BET untuk mendapatkan nilai luas permukaan dan distribusi ukuran pori-porinya menggunakan alat Nova E-Quantachrome Instruments
- Analisa SEM untuk mengetahui struktur morfologinya menggunakan alat INSPECT S50
- Analisa FTIR untuk mengetahui gugus fungsional oksigen yang melekat pada permukaan karbon-mesoporous menggunakan alat NICOLET iS10

C. Aplikasi Karbon-Mesoporous ke dalam Proses Distilasi-Adsorpsi

Dalam penelitian ini digunakan sebuah kolom distilasi sederhana yang dilengkapi kolom penyangga karbon

mesoporous (hasil gas dan liquid treatment), penyangga karbon ini terbuat dari glass filter. Secara rinci peralatan distilasi-adsorpsi ditunjukkan dalam Gambar 4.

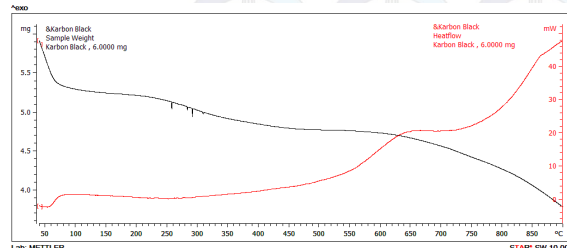


Gambar 4 Skema Rangkaian Peralatan Distilasi-Adsorpsi Skematik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1. Karakteristik Bahan Baku

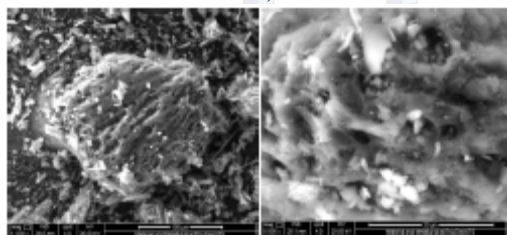
Penentuan suhu maksimum dekomposisi dilakukan dengan analisa TGA sehingga dapat ditentukan suhu dimana bahan akan mulai kehilangan massa dalam jumlah yang besar. Hasil analisa TGA untuk karbon black komersial ditampilkan pada Gambar 5



Gambar 5 Hasil analisa TGA bahan baku karbon black

Gambar 5 menjelaskan bahan baku karbon black terdekomposisi pada suhu onset-nya yaitu sebesar 630°C. Data-data tersebut digunakan untuk menentukan variabel suhu yang digunakan dalam percobaan aktivasi karbon black yaitu dibawah suhu onset / suhu maksimum dekomposisi karbon. Suhu di bawah onset-nya yaitu 300°C dan 450°C pada aktivasi karbon dan selama waktu (1-5 jam) bertujuan aktivasi karbon akan terdekomposisi secara lambat sehingga dapat membentuk karbon aktif dengan morfologi yang baru. Hal ini juga telah sesuai dengan hasil analisa TPD pada penelitian kami sebelumnya.

Morfologi karbon sangat penting dalam penelitian ini dimana untuk melihat morfologi karbon yang telah teraktivasi dan diinginkan terbentuknya struktur-struktur baru dengan morfologi mesoporous. Berikut ini merupakan hasil analisa SEM bahan baku karbon black, antara lain:



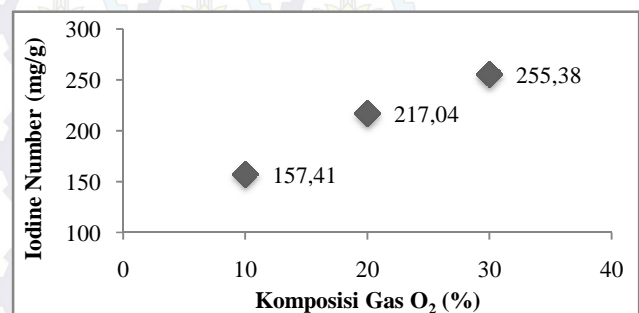
Gambar 6 Hasil Analisa SEM bahan baku karbon black

Gambar 6 merupakan hasil analisa SEM bahan baku karbon black sebelum diaktivasi terlihat jelas bahwa morfologinya berupa pori-pori berukuran makro, dan secara umum permukaannya masih pejal, sehingga ukuran luas permukaannya masih sangat rendah (183.184 m²/g) begitu juga dengan nilai *iodine number*-nya (150,74 mg/g). Oleh karena itu, karbon black sendiri perlu diaktivasi dengan prosedur yang benar dan sesuai sehingga dapat merata-nya distribusi pori-pori dan menjadikan karbon tersebut sebagai karbon yang lebih bermanfaat dalam penerapan sebagai adsorban dalam proses pemurnian ethanol grade bahan bakar.

III.2. Pengaruh Variabel Pada Metode Kolom Gas Treatment terhadap Nilai *Iodine Number*

Hasil percobaan kolom gas-treatment melalui metode *vertical column* dianalisis *iodine number* di laboratorium TAKI, teknik kimia ITS. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai karbon dalam penyerapan iodine (I₂). *Iodine number* dibutuhkan untuk melengkapi hasil analisa metode BET.

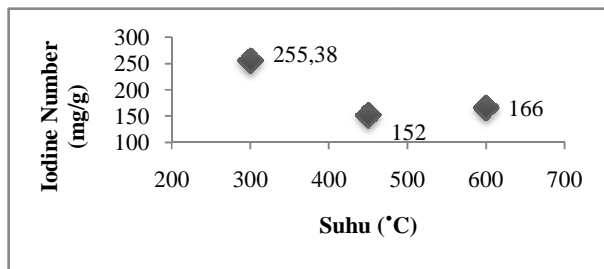
III.2.1. Pengaruh Komposisi Gas Oksigen



Gambar 7 Hasil analisa *iodine number* karbon black pengaruh komposisi gas oksigen (Gas Oksidan O₂ = 10, 20, dan 30% vol, Waktu = 2 jam, dan Suhu= 300°C)

Gambar 7 menjelaskan hasil analisa *iodine number* berdasarkan variabel konsentrasi gas oksigen yang digunakan yaitu 10%, 20%, dan 30% vol dengan flowrate gas sebesar 100 cc/menit. Gas Treatment ini dilakukan pada suhu 300°C dan waktu yang digunakan adalah 2 jam. Karbon mesoporous dengan konsentrasi oksigen sebesar 10% dan 20% memiliki nilai *Iodine number* yang rendah yaitu 157,41 dan 217,04. Hasil yang ditunjukkan yaitu pada konsentrasi oksigen sebesar 30% vol memiliki nilai *iodine number* yang paling tinggi yaitu 255,38 mg/g. Oleh karena itu, konsentrasi optimum yang dapat digunakan untuk metode kolom gas treatment ini adalah pada konsentrasi gas oksidan O₂ 30% vol. Dengan pertimbangan feasibility ekonomis, maka pada pembahasan berikutnya hanya akan digunakan komposisi gas oksidan O₂ 30% vol.

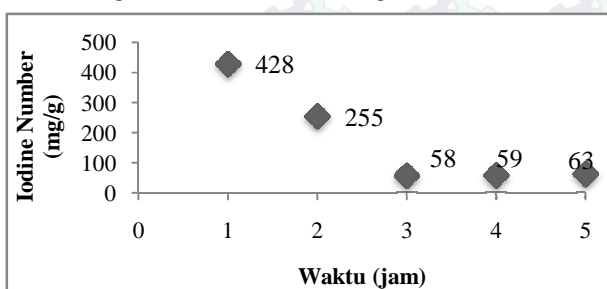
III.2.2. Pengaruh Suhu Kontak dengan Gas Oksidan O₂



Gambar 8 Hasil analisa *iodine number* karbon mesoporous pengaruh suhu gas (gas oksidan O₂ = 30% vol, waktu = 2 jam, dan suhu = 300°C, 450°C, dan 600°C)

Percobaan ini untuk mendapatkan hasil optimum dalam laju aktivasi terhadap variabel dengan suhu kontak gas O₂, dimana hasil optimum aktivasi dikorelasikan dengan nilai *iodine number*-nya. Gambar 8 menjelaskan hasil analisa *iodine number* berdasarkan variabel suhu yang digunakan yaitu 300°C, 450°C, dan 600°C dengan waktu yang digunakan adalah 2 jam dan konsentrasi oksigen yang digunakan adalah 30% (flowrate=100 cc/menit). Pada suhu 300°C didapatkan nilai *iodine number* yang paling tinggi yaitu 255,38 mg/g, sedangkan pada suhu 450°C dan 600°C memiliki nilai *iodine number* yang rendah yaitu sebesar 152 mg/g dan 166 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa metode proses dekomposisi secara lambat (*kinetic controlled reaction*) lebih baik daripada proses dekomposisi secara cepat (*thermodynamic controlled reaction*). Selain itu, hal ini juga menguntungkan dari segi konsumsi energi operasional, karena hanya membutuhkan proses pemanasan reaksi dekomposisi pada suhu relatif rendah (300°C).

III.2.3. Pengaruh Waktu Kontak dengan Gas Oksidan O₂



Gambar 9 Hasil analisa *iodine number* karbon mesoporous pengaruh waktu kontak dengan gas oksidan O₂ (Gas Oksidan O₂ = 30% vol, Waktu = 1-5 jam, dan Suhu = 300°C)

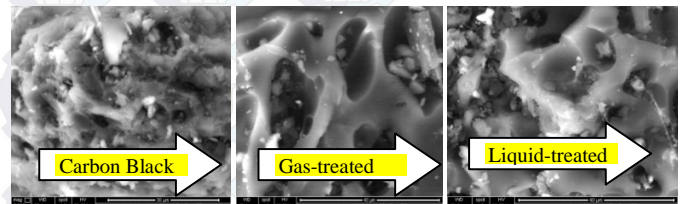
Percobaan ini dilakukan untuk mendapatkan hasil optimum dalam laju aktivasi terhadap variabel waktu kontak dengan gas oksidan O₂. Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak dengan gas oksidan O₂, maka nilai *iodine number*-nya semakin turun. Pada waktu lebih dari 3 jam, nilai *iodine number* dari karbon mesoporous relatif kecil. Hal ini disebabkan oleh terjadinya proses dekomposisi karbon yang sangat cepat, secara fisik dibuktikan dengan adanya abu pada karbon. Oleh karena itu, di dalam prosedur penelitian berikutnya, kami hanya memfokuskan pada waktu optimum dekomposisi 1 jam.

III.3. Signifikansi Metode Gas-Liquid Treatment

Pada penelitian ini, karbon black dikontakkan dengan media gas oksidan udara dan liquid oksidan HNO₃ secara berurutan. Setelah dilakukan gas treatment, kemudian karbon mesoporous dikontakkan dengan HNO₃ 65% agar dapat membentuk gugus-gugus fungsional oksigen di atas permukaan karbon; tahapan yang lazim dikenal dengan *surface functionalization*. Untuk melihat perubahan dari struktur morfologi karbon black awal, karbon mesoporous setelah gas treatment, dan karbon mesoporous setelah liquid treatment maka dilakukan analisa SEM.

III.3.1. Analisa SEM

Analisa SEM ini adalah yang digunakan untuk melihat struktur morfologi pada karbon setelah dilakukan gas-liquid treatment. Analisa SEM dilakukan baik mulai bahan baku karbon black, setelah gas treatment, dan setelah liquid treatment. Analisa ini kami lakukan di Teknik Material dan Metalurgi ITS.



Gambar 10 Hasil Analisa SEM karbon black awal, setelah gas treatment dan setelah liquid treatment (gas oksidan O₂ = 30% vol, waktu gas treatment = 1 jam, suhu gas treatment = 300°C, dan waktu refluks = 6 jam)

Perlu diperhatikan bahwa dari hasil analisa SEM (Gambar 10), terlihat bahwa karbon setelah dilakukan gas-liquid treatment ini mempunyai ukuran pori-pori meso/mikro yang menguntungkan dalam hal peningkatan luas permukaan (BET) dan *iodine number*-nya. Dengan meningkatnya luas permukaan karbon dan pori-pori yang terdistribusi secara merata, maka akan meningkatkan kapasitas adsorpsinya.

III.3.2. Analisa BET

Analisa BET yaitu untuk mengetahui luas permukaan karbon yang telah diaktivasi dan mengetahui distribusi pori-pori serta pembentukan struktur-struktur yang baru. Karbon yang dianalisa sebanyak 3 sampel yaitu karbon black awal, karbon mesoporous setelah dilakukan gas treatment selama 1 jam, dan karbon mesoporous setelah dilakukan gas-liquid treatment dengan waktu refluks selama 6 jam. Hasil analisa dengan metode BET ditampilkan dalam bentuk Tabel 4 dan Gambar 11.

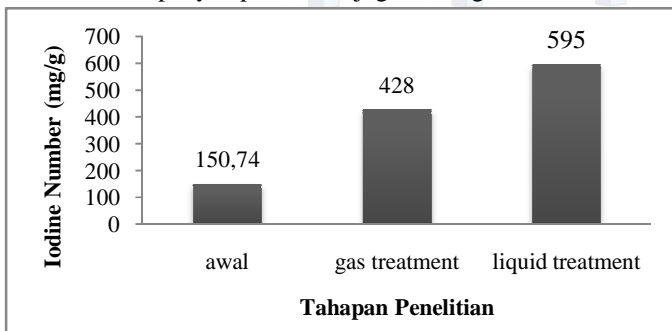
Tabel 1 Hasil Analisa BET Karbon Aktif (Gas Oksidan $O_2 = 30\%$ vol, Waktu Gas Treatment =1 jam, Suhu Gas Treatment=300°C, dan Waktu refluks =6 jam)

NO	Jenis Karbon	Luas Permukaan (m^2/g)	Struktur Karbon
1	Karbon black awal	183.184	Macropore
2	Karbon black setelah gas treatment	583.767	Mesopore
3	Karbon black setelah liquid treatment	629.535	Mesopore

Tabel 1 menunjukkan luas permukaan karbon awal, setelah gas treatment, dan setelah liquid treatment. Hasil yang menunjukkan bahwa luas permukaan karbon meningkat setelah dilakukan gas-liquid treatment. Gas treatment dapat meningkatkan luas permukaan karena karbon terdekomposisi secara pelan (*kinetically controlled*) sehingga karbon membentuk pori-pori meso dengan luas permukaan sebesar $583.767 m^2/g$ yang dapat meningkatkan *active site* (daerah aktif) untuk adsorpsi sehingga kapasitas adsorpsinya menjadi lebih besar, kemudian luas permukaan semakin meningkat menjadi sebesar $629.535 m^2/g$ setelah dilakukan liquid treatment, karena membentuk gugus-gugus fungsional oksigen yang merata dipermukaan karbon.

III.3.3. Analisa Iodine Number

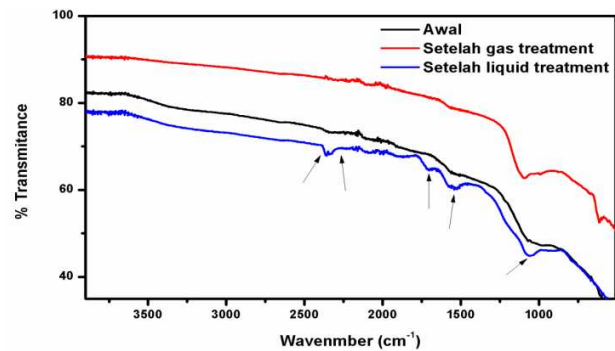
Analisa iodine number dilakukan untuk mengetahui besar nilai karbon dalam penyerapan *iodine*. Gambar 11 menunjukkan bahwa proses lanjutan dari gas treatment yaitu liquid treatment dapat meningkatkan *iodine number* karbon. Analisa *iodine number* berbanding lurus dengan analisa BET. Jika luas permukaan karbon meningkat, maka besar nilai karbon dalam penyerapan *iodine* juga meningkat.



Gambar 11 Pengaruh gas dan liquid oksidan treatment terhadap *iodine number* karbon (gas oksidan $O_2 = 30\%$ vol, waktu gas treatment =1 jam, suhu gas treatment=300°C, dan waktu refluks =6 jam)

III.3.4. Analisa FTIR

Analisa FTIR ini adalah yang digunakan untuk menentukan adanya gugus-gugus fungsi yang terdapat pada karbon setelah dilakukan Gas-Liquid Treatment. Analisa ini dilakukan pada karbon black awal, karbon mesoporous setelah gas treatment, dan karbon mesoporous setelah liquid treatment. Analisa ini kami lakukan di Teknik Material dan Metalurgi ITS.



Gambar 12 Hasil Analisa FTIR karbon black awal, setelah gas treatment dan setelah liquid treatment

Gambar 12 menunjukkan bahwa setelah liquid treatment, terlihat jelas terjadi pembentukan gugus fungsional baru (ditunjukkan dengan panah hitam) yaitu diantaranya gugus fungsional carboxylic acid, quinones, -C-OH (stretching), dan carboxylic anhydrides. *Compound names* yang muncul diantaranya TitaniumIV (chloride), Zinc oxide, dimethyl acid phyrophosphate, Cellophane, 2-Fluoroethanol, Pyrophosphoric acid, hydroxypropyl methyl cellulose, Chloroquine PO_4 in KBr, Boron trifluoride dihydrate, dan Acetaldoxime. Dengan adanya gugus-gus fungsional ini maka karbon akan bersifat *hydrophylic*, sehingga karbon dapat mempunyai kapasitas adsorpsi yang baik, selektivitas terhadap air yang tinggi, serta mempunyai luasan permukaan yang besar. Untuk menentukan luasan permukaan yang terbentuk dapat diuji dengan menggunakan analisa BET.

III.4. Aplikasi Karbon Setelah Diaktivasi Sebagai Adsorban Dalam Proses Pemurnian Ethanol Grade Bahan Bakar

Percobaan ini dilakukan dengan cara distilasi-adsorpsi menggunakan adsorban karbon black yang telah diaktivasi. Proses distilasi-adsorpsi dilakukan pada suhu 80°C.

Tabel 2 Konsentrasi Ethanol setelah Distilasi-Adsorpsi

No	Konsentrasi Ethanol Awal (% vol)	Waktu (jam)	Konsentrasi Ethanol Distilat Tanpa Karbon Mesoporous (% vol)	Konsentrasi Ethanol Distilat dengan Karbon Mesoporous (% vol)
1	70	5	80	86
2	96	6	96	98

Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi ethanol distilat menggunakan karbon mesoporous yang telah dilakukan gas-liquid treatment lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi ethanol distilat tanpa karbon mesoporous. Hal ini menunjukkan bahwa karbon mesoporous hasil aktivasi dengan metode gas-liquid treatment dapat dijadikan adsorban pada proses distilasi-adsorpsi untuk pemurnian ethanol. Namun, adsorban karbon mesoporous ini belum bisa menghasilkan ethanol grade bahan bakar.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan metode sekuensial gas – liquid karbon *black* dapat diaktivasi menjadi karbon aktif dengan luas permukaan dan iodine number sebesar 629,535 m²/g dan 595 mg/g, pada kondisi operasional gas treatment yaitu komposisi O₂ 30 % vol., *flow-rate* 100 ccm, 300 °C, dan waktu 1 jam.
2. Untuk kondisi optimal untuk sequensial gas treatment didapatkan data sebagai berikut:
 - a) Komposisi gas O₂ 30 % vol.
 - b) Waktu gas treatment 1 jam
 - c) Suhu gas treatment 300 °C
 - d) *Flow-rate* gas 100 ccm
3. Untuk kondisi optimal untuk sekuensial liquid treatment didapatkan data kondisi komposisi larutan HNO₃ sebesar 65 %, 6 jam treatment, suhu 100 °C.
4. Karbon aktif yang didapatkan dari proses aktivasi sekuensial gas liquid, dapat diaplikasikan sebagai adsorban dalam proses distilasi-adsorpsi untuk pemurnian ethanol. Hal ini dikarenakan adanya gugus fungsional oksigen yang terdapat pada permukaan pori-pori meso/mikro karbon aktif. Namun, adsorban karbon mesoporous ini belum bisa menghasilkan ethanol grade bahan bakar.

2. Saran

Perlu dilanjutkan eksperimen untuk gas-liquid treatment, untuk mendapatkan minimum persyaratan mutu karbon aktif yang dapat dijadikan adsorban unggul dalam proses distilasi-adsorpsi untuk pemurnian ethanol grade bahan bakar

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan berkah-Nya, kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu penelitian ini khususnya kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Nonot Soewarno, M.Eng dan Bapak Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D atas saran dan bimbingannya selama penelitian ini dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Kumar, S.; Singh, N.; Prasad, R. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010, 14, 1830.
- (2) Sánchez, Ó. J.; Cardona, C. A. *Bioresource Technology* 2008, 99, 5270.
- (3) Quintero, J. A.; Rincón, L. E.; Cardona, C. A. In *Biofuels*; Ashok, P., Christian, L., Steven, C. R., Claude-Gilles, D., Edgard Gnansounou A2 - Ashok Pandey, C. L. S. C. R. C.-G. D., Edgard, G., Eds.; Academic Press: Amsterdam, 2011, p 251.
- (4) Maningat, C. C.; Bassi, S. D. In *Encyclopedia of Grain Science*; Editor-in-Chief: Colin, W., Ed.; Elsevier: Oxford, 2004, p 405.
- (5) Cardona, C. A.; Sánchez, Ó. J. *Bioresource Technology* 2007, 98, 2415.
- (6) Sowerby, B.; Crittenden, B. D. *Gas Separation & Purification* 1988, 2, 77.
- (7) Wang, Y.; Gong, C.; Sun, J.; Gao, H.; Zheng, S.; Xu, S. *Bioresource Technology* 2010, 101, 6170.
- (8) Crawshaw, J. P.; Hills, J. H. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 1990, 29, 307.
- (9) Al-Asheh, S.; Banat, F.; Al-Lagtah, N. *Chemical Engineering Research and Design* 2004, 82, 855.
- (10) Levorio, T. J.; Dai, M.; Yuan, W.; Vogt, B. D.; Nielsen, D. R. *Microporous and Mesoporous Materials* 2012, 148, 107.
- (11) Taufany, F.; Pan, C.-J.; Chou, H.-L.; Rick, J.; Chen, Y.-S.; Liu, D.-G.; Lee, J.-F.; Tang, M.-T.; Hwang, B.-J. *Chemistry – A European Journal* 2011, 17, 10724.
- (12) Taufany, F.; Pan, C.-J.; Lai, F.-J.; Chou, H.-L.; Sarma, L. S.; Rick, J.; Lin, J.-M.; Lee, J.-F.; Tang, M.-T.; Hwang, B.-J. *Chemistry – A European Journal* 2013, 19, 905.
- (13) Xu, Y.; Guo, J.; Wang, C. *Journal of Materials Chemistry* 2012, 22, 9562.
- (14) Ni, H.; Liu, J.; Fan, L.-Z. *Nanoscale* 2013, 5, 2164.
- (15) Ramasamy, E.; Lee, J. *Chemical Communications* 2010, 46, 2136.
- (16) WANG Gui-Qiang**, H. C.-C., XING Wei, ZHUO Shu-Ping *Chin. Phys. Lett.* 2011, 28, 38801.
- (17) Chen, K.-J.; Lee, C.-F.; Rick, J.; Wang, S.-H.; Liu, C.-C.; Hwang, B.-J. *Biosensors and Bioelectronics* 2012, 33, 75.
- (18) Huang, H.-J.; Ramaswamy, S.; Tschirner, U. W.; Ramarao, B. V. *Separation and Purification Technology* 2008, 62, 1.
- (19) Beery, K. E.; Ladisch, M. R. *Enzyme and Microbial Technology* 2001, 28, 573.
- (20) Kondo, M.; Komori, M.; Kita, H.; Okamoto, K.-i. *Journal of Membrane Science* 1997, 133, 133.
- (21) Carmo, M. J.; Gubulin, J. C. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 1997, 14.
- (22) Hu, X.; Xie, W. *Separation Science and Technology* 2001, 36, 125.
- (23) Restuccia, G.; Freni, A.; Vasta, S.; Aristov, Y. *International Journal of Refrigeration* 2004, 27, 284.
- (24) Aristov, Y. I.; Marco, G.; Tokarev, M. M.; Parmon, V. N. *React Kinet Catal Lett* 1997, 61, 147.
- (25) Freni, A.; Russo, F.; Vasta, S.; Tokarev, M.; Aristov, Y. I.; Restuccia, G. *Applied Thermal Engineering* 2007, 27, 2200.
- (26) Polshettiwar, V.; Cha, D.; Zhang, X.; Basset, J. M. *Angewandte Chemie International Edition* 2010, 49, 9652.
- (27) Wyman, C. *Handbook on bioethanol: Production and utilization*; Taylor & Francis: Washington, DC, 1996.